

Trabajo Fin de Grado

Mejora del sistema de visión del carro de combate
Leopardo 2E para aumentar la seguridad en
operaciones con elementos de combate a pie.

Autor

CAC. Javier Ramírez Guillot

Directores

Director académico: D. Carlos Sáenz Royo
Director militar: Cap. Inf. D. Arturo López González

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2019

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo la mejora del sistema de visión del carro de combate Leopard 2E utilizado por las unidades de infantería acorazada del Ejército de Tierra para aumentar la seguridad cuando operan junto con elementos de combate a pie. Para ello, se realiza un estudio de la situación presente y futura del sistema de visión. Además, se incluye un análisis de los futuros escenarios de acción de las unidades acorazadas de carros de combate, incidiendo en los aspectos referidos al sistema de visión. Para dar respuesta a las exigencias futuras del carro de combate, se realiza una búsqueda de distintas alternativas tecnológicas de visión. Se proponen aquellas que mejoran las actuales capacidades del carro de combate, orientándolas a sus posteriores usos en los futuros escenarios y al combate junto a infantería ligera a pie.

Debido a la gran dificultad que conlleva la comparación de las distintas alternativas con aspectos cuantitativos y cualitativos, se implementa la metodología AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para la jerarquización de los criterios y subcriterios. El objetivo de aplicar el método AHP es facilitar la elección de las distintas cámaras propuestas, obteniendo de forma objetiva la mejor alternativa posible. En este trabajo se concluye que, de acuerdo con las opiniones de los expertos consultados y el método AHP, la mejor alternativa es la cámara de visión Axis Q1647, la cual obtuvo la mayor calificación tras la aplicación del método AHP con un total de 0,47 puntos sobre 1, seguido por la cámara DS-2TX3636-SP, la cual obtuvo una puntuación de 0,29 puntos.

Finalmente, el trabajo ofrece una propuesta de instalación donde se puede observar los ángulos de visión resultantes de la incorporación de las cámaras propuestas y una comparación con la situación actual.

Asimismo, los resultados del proyecto detallan la aplicación de metodologías científicas en la toma de decisiones complejas en el ámbito de la Defensa, consultando a expertos y estableciendo un sistema de agregación que asegure la coherencia de la decisión grupal.

Palabras clave:

Proceso de jerarquización, toma de decisiones, carro de combate, elemento de combate a pie.

Abstract

The aim of this project is to upgrade the Leopard 2E tank vision system, the Spanish Infantry Main Battle Tank (MBT), in order to improve the security when both light and armored infantry operate together. Therefore, a study carried out reveals the current situation and future ideas about the vision system, including the Spanish vision system needs. Furthermore, this project studies the most probable future war zones in where armored units would have to take part. The study is focused on the vision system area and how it will be developed. In order to solve all these problems, a research throughout the technological market is developed to look for different solutions. Three different alternatives are proposed for improving the MBT capabilities. These alternatives are focused on improving the security of the light Infantry unit.

Due to the difficulty to compare the different alternatives what includes quantitative and qualitative criteria the project solves the problems using the AHP method (Analytical Hierarchy Process). The AHP is used in order to make the election of the different cameras easier, and in addition to this, it provides the objectivity that this kind of election needs. Taking this into account, the project includes the best alternative according to the expert opinions and the AHP method, and that was the Axis Q1647. The Axis Q1647 had a score of 0.47 points out of 1. The second choice was the DS-2TX3636-SP camera, which had a score of 0.29 points.

At the end, the project shows a proposal for the installation of all the vision system, with a very clear description of the vision angles that could be implemented. Moreover, this proposal allows us to compare very easily the visual field with and without the new cameras.

The project results also show us how we could use this kind of scientific method along the decision-making process, especially for difficult decisions concerning Defence Policy.

Finally, the project shows which is the best system to improve the Leopard 2E tank security in operations with light Infantry elements

Key words:

Hierarchy process, making decision, tank, landed combat elements.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer todo el apoyo y cariño recibido por la 6ª Cía. del RAC 61, los “tiburones”, quienes me han facilitado, en todo momento, lo necesario para la realización de este trabajo. También es imperativo agradecerle a mi familia su tiempo y paciencia. Y, por último, y no por ello menos importante, a todos mis viejos amigos quienes me han aportado sus conocimientos técnicos e información para poder realizar este trabajo.

Índice

Índice de figuras.....	XII
Índice de tablas.....	XIV
Lista de Acrónimos.....	XV
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	1
Capítulo 2. Infantería Acorazada.....	3
2.1. Empleo de los Carros de Combate por el ejército español.....	3
2.1.1. Necesidades presentes y futuras.....	3
2.1.2. Infantería acorazada en el combate urbanizado.....	5
2.2. Estado actual del sistema de visión del Carro de Combate Leopard 2E.....	5
2.2.1. Jefe de Carro.....	6
2.2.2. Cargador.....	6
2.2.3. Conductor.....	6
2.2.4. Cámara de visión marcha atrás.....	7
2.2.5. Justificación de la importancia del sistema de visión.....	7
2.3. Alternativas de mejora del sistema de visión del Carro de Combate Leopard 2E.....	7
2.3.1. Axis Q1647 Network Camera.....	8
2.3.2. DS-2TX3636-SP.....	8
2.3.3. DF4910HD-DN/IR.....	9
2.4. Elección de Criterios y subcriterios.....	10
Capítulo 3. Metodología y resultados.....	13
3.1. Metodología del análisis AHP.....	13
3.2. Pasos a seguir para la estructuración de un modelo jerárquico.....	14
3.2.1. Representación del problema en una estructura jerárquica.....	14
3.2.2. Valoración de criterios y subcriterios.....	15
3.2.3. Evaluación de las alternativas.....	21
3.2.4. Orden de prioridad de las alternativas.....	24
Capítulo 4. Propuesta de instalación.....	25

Capítulo 5. Conclusiones.....	29
5.1. Conclusiones.	29
5.2. Líneas futuras.	30
Referencias.....	31

Índice de figuras.

Figura 1. Área Visible del Jc. con torre a las 1200. Fuente: MT6-049.....	6
Figura 2. Área visible del cargador con torre a las 1200. Fuente: MT6-049.	6
Figura 3. Área visible del conductor con torre a las 1200. Fuente: MT6-049.	6
Figura 4. Área visible de la cámara de visión marcha atrás. Fuente: MT&-049 Manual técnico de tripulación.	7
Figura 5. Estructuración de un modelo jerárquico. Fuente: Elaboración propia.	14
Figura 6. Árbol de jerarquías. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 7. Intervalos de valoración de acuerdo con los resultados obtenidos. Fuente: Saaty y Vargas 1991.....	16
Figura 8. Vista superior de la instalación de las cámaras en el CC Leopardo 2E. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 9. Vista de perfil de la instalación de las cámaras en el CC Leopardo 2E. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 10. Sistema de visión marcha atrás. Fuente: MT6-049.....	26
Figura 11. Vista superior de los ángulos de visión de las cámaras. Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 12. Vista de perfil de los ángulos de visión de las cámaras. Fuente: Elaboración propia.....	27

Índice de tablas.

Tabla 1. Elaboración propia con información obtenida mediante comunicación con la empresa AXIS communications.	8
Tabla 2. Elaboración propia con información obtenida en www.hikvision.com [11].....	9
Tabla 3. Elaboración propia con información obtenida mediante comunicación con la empresa sourcesecurity.	10
Tabla 4. Escala de preferencias. Fuente: Saaty (1977).	16
Tabla 5. Matriz de criterios. Fuente: Elaboración propia.....	17
Tabla 6. Vector de prioridades de los criterios. Fuente: Elaboración propia.	18
Tabla 7. Valores de la CA. Fuente: T.L. Saaty (1998).	19
Tabla 8. Valoración del subcriterio Flexibilidad. Fuente: Elaboración propia.	20
Tabla 9. Valoración del subcriterio Costes. Fuente: Elaboración propia.....	20
Tabla 10. Valoración del subcriterio Operatividad. Fuente: Elaboración propia.....	20
Tabla 11. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Espectro de utilización. Fuente: Elaboración propia.	21
Tabla 12. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Amplitud visual. Fuente: Elaboración propia.	21
Tabla 13. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Adquisición. Fuente: Elaboración propia.	22
Tabla 14. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Repuestos. Fuente: Elaboración propia.	22
Tabla 15. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Flujo de suministros. Fuente: Elaboración propia.	22
Tabla 16. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Autoprotección. Fuente: Elaboración propia.	23
Tabla 17. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Consumo. Fuente: Elaboración propia.....	23
Tabla 18. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Sencillez de interpretación. Fuente: Elaboración propia.	23
Tabla 19. Matriz de decisión. Fuente: Elaboración propia.	24

Lista de Acrónimos

AHP	Analytical Hierarchy Process.
CA	Consistencia Aleatoria.
CC	Carro de combate.
CUD	Centro Universitario de la Defensa
DDN	Directiva de defensa nacional.
DGAM	Dirección General de Armamento y Material.
ECP	Elemento de combate a pie.
ESN	Estrategia de seguridad nacional.
FAS	Fuerzas Armadas.
IC	Índice de consistencia.
IR	Infrarrojos.
ISTAR	Intelligence, surveillance, target acquisition and reconnaissance.
Jc	Jefe de carro.
MADOC	Mando de Adiestramiento y Doctrina.
MBT	Main Battle Tank.
ONU	Organización de Naciones Unidas.
OTAN	Organización del tratado del atlántico norte.
RAC	Regimiento acorazado.
RI	Razón de inconsistencia.
SIGLE	Sistema de Gestión Logística del Ejército.
TN	Territorio Nacional.
UE	Unión Europea.
UPA	Unidad de Potencia Auxiliar.

Capítulo 1. Introducción.

1.1. Antecedentes.

Uno de los momentos más importantes de la historia moderna de la caballería fue la invención del carro de combate (CC). El primer carro de combate fue el Mark I, de fabricación británica. Este carro fue desarrollado en el año 1916 para traspasar las trincheras enemigas, transportar munición y resistir los impactos de armas ligeras. Sin embargo, el empleo de dicho CC fue un fracaso debido a que los pesados Mark I únicamente alcanzaban una velocidad de 7 km/h, lo que permitía al ejército enemigo anticipar y bloquear sus movimientos. Años más tarde, el ejército británico desarrolló el Mark IV y el ejército francés hizo lo propio fabricando el CC Renault FT-17. Ambos CC fueron empleados durante la batalla de Amiens, el 8 de agosto de 1918, donde se enfrentaron el ejército francés y británico contra el ejército alemán. Su éxito en la batalla radicó en que se emplearon masivamente y a que los CC eran más veloces que su predecesor Mark I. Tal fue su éxito que fueron capaces de romper el frente y causar alrededor de 30.000 bajas entre las filas alemanas. Los alemanes conmemoraron este día como “El día Negro del Ejército Alemán”, lo que refleja la eficacia que tuvo este sistema de armas contra las fuerzas alemanas. [1]

Debido a la gran efectividad de esta plataforma, España decidió adquirir este nuevo sistema de armas. Concretamente, España adquirió el carro de combate Renault FT-17, el cual recibió su bautismo de fuego el 8 de marzo de 1922, haciendo frente a la insurrección marroquí del caudillo Abd el-Krim [2]. Posteriormente, cabe destacar el empleo de dichos carros de combate en el desembarco de Alhucemas, donde las fuerzas desplegadas en la operación contaban con una decena CC para terminar con la rebelión rifeña. [3].

En un primer momento, los CC fueron diseñados para desorganizar las grandes masas de combatientes de infantería ligera que conformaban el frente. Sin embargo, su empleo táctico se ha modificado hasta la actualidad, donde la infantería acorazada tiene como misión contrarrestar la potencia de combate de las unidades acorazadas enemigas.

1.2. Objetivos.

El objetivo principal del trabajo es mejorar el rendimiento del Carro de Combate Leopardo 2E mediante la incorporación de un nuevo sistema de visión electrónico.

Como objetivos secundarios se encuentran:

1. Localizar sistemas de visión compatibles con el carro y con las restricciones de legislación establecidas para el ejército de España.
2. Procesar la información de los distintos sistemas de visión posibles.
3. Proponer la mejor opción, de acuerdo a un método de decisión de reconocido prestigio, el Analytic Hierarchy Process (AHP).

Capítulo 2. Infantería Acorazada.

2.1. Empleo de los Carros de Combate por el ejército español.

Este trabajo se centra en el empleo del CC Leopardo 2E de las unidades de infantería acorazada, cuyos cometidos según el Mando de Adiestramiento y Doctrina (MADOC) [4] son:

- Profundizar en el despliegue defensivo enemigo para destruir, conquistar y ocupar un objetivo asignado a la unidad.
- Impulsar la acción del primer escalón.
- Construir o formar parte de la reserva de la entidad superior.
- Acciones de retardo o desgaste.
- Realizar contrataques.
- Acciones de Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de objetivos y Reconocimiento (ISTAR).
- Protección de flancos.

Es de destacar que la gran mayoría de dichas misiones se realizan en coordinación con otras unidades, las cuales pueden componerse total o parcialmente por un elemento de combate a pie (ECP).

2.1.1. Necesidades presentes y futuras.

Según la Estrategia de Seguridad Nacional (ESN) de 2017 (presidencia del Gobierno, 2017) [7] y la Directiva de Defensa Nacional (DDN) de 2012 (Gobierno de España, 2012) [8] se destacan como los escenarios futuros de las Fuerzas Armadas (FAS) los ambientes híbridos y el combate en zonas urbanizadas. Estos escenarios se localizan en estados fallidos con gobiernos incapaces de ejercer su poder en la totalidad de su territorio nacional (TN). Además, hay que añadir la complicación de discernir entre población civil y personal combatiente. Estos últimos suelen ocultarse entre la población civil haciendo, aún más difícil, el combate en estos entornos. Cabe destacar que en estos conflictos pueden darse simultáneamente combates simétricos y asimétricos por lo que se hace crucial la rápida adquisición de objetivos y la interoperabilidad entre unidades, cualidades recaladas en el marco de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) y la Unión Europea (UE). Por otra parte, en los documentos citados también se destaca la necesidad de la defensa del TN, centrándose en la defensa de infraestructuras críticas y la lucha contra amenazas globales tales como el terrorismo y tráfico de seres humanos entre otros.

Asimismo, cabe destacar que las FAS españolas intervienen en operaciones bajo el amparo de organizaciones internacionales tales como la OTAN o la Organización de Naciones Unidas (ONU). Hay que tener en cuenta que las fuerzas que intervienen en dichas operaciones deben de ser ágiles, flexibles e interoperables, pues los escenarios actuales alcanzan altas cotas de complejidad y requieren la actuación de distintos tipos de

unidades simultáneamente, para realizar todos los cometidos necesarios. La complejidad de los futuros combates asimétricos, así como la interoperabilidad entre distintos tipos de unidades hace que se necesite mayor cantidad de información del entorno en la toma de decisiones. Es por ello que, una buena visión del campo de batalla por parte de las unidades acorazadas se hace imprescindible cuando se opera con unidades a pie, cuya seguridad se ve afectada tanto por los movimientos como por el fuego del CC.

Dentro del carro de combate uno de los sistemas más importantes es el de visión y así se recoge tanto en la táctica referida a las unidades acorazadas como en las alternativas de empleo de este tipo de fuerzas, como se muestra en los análisis del empleo de los CC en combate urbano. De dichos análisis se obtienen dos aspectos que cabría destacar [9]:

1. En el combate en zonas urbanizadas las unidades acorazadas que no son apoyadas por un ECP deberán combatir con las escotillas subidas, pues el enemigo se encontrará, mayoritariamente, al nivel del suelo. Esto es debido a que no se tiene visión sobre ellos y a que se deberá hacer uso del armamento individual para su neutralización.
2. No existe ninguna mejora específica en los CC españoles para su uso en combate urbanizado por lo que es necesario desplegar personal a pie que proporcione información sobre el entorno exterior cercano del carro de combate ya que, dicho sistema de armas no dispone de visión sobre él al encontrarse en los ángulos muertos del carro.

El MADOC [4] advierte de que los tripulantes de un carro de combate que intentan observar mediante la apertura de las escotillas pueden ser abatidos por los tiradores de precisión enemigos, al ser objetivos de gran valor. Por otro lado, la táctica del empleo de los CC establece:

1. Los CC seguirán a los fusileros por lo que será importante que exista un enlace entre ambos combinando distintos medios de transmisión, radio, señales, etc., con instrucciones y normas muy ensayadas [4]. Un buen sistema de visión del CC permitiría observar las instrucciones transmitidas por otros elementos, incluso detectar si se encuentran en el entorno cercano al CC.
2. El jefe de carro (Jc.), se asegurará de que se usa la munición adecuada y de que esta no afectará a las tropas propias ni en sus efectos ni en los posibles materiales desprendibles de la munición [4]. La falta de visión sobre la zona denominada como “cono de seguridad”, deja la confirmación del cumplimiento de dicha norma por parte de un elemento exterior a la tripulación.
3. El movimiento de los CC en zonas urbanizadas debe estar protegido por un ECP que haya limpiado los edificios previamente o se encuentre flanqueando la ruta [6]. Necesitando un sistema de visión adecuado para comunicarse en caso de que las transmisiones fallaran.

4. Con el adecuado apoyo de un ECP y unidades de zapadores, las unidades acorazadas son las más idóneas para los combates en zonas urbanizadas con menor densidad, tales como zonas industriales o residenciales [6].

2.1.2. Infantería acorazada en el combate urbanizado.

La creciente posibilidad de que los escenarios futuros de combate sean en conflictos híbridos en zonas urbanizadas [5] obliga a adecuar los CC a dichos escenarios. No obstante, la doctrina española advierte que el combate en zona urbanizada de un carro es extremadamente difícil [4], debido a que:

- Tiene poca visibilidad en sus inmediaciones.
- Se mueve con dificultades.
- Puede ser atacado desde distancias muy cortas y desde cualquier ángulo.
- Si la tripulación observa desde fuera del carro de combate pueden ser abatidos por tiradores de precisión enemigos.

Por otro lado, los CC pueden proporcionar fuegos directos y precisos, a parte de una gran protección al ECP, lo que los hace muy valiosos en este tipo de combate. Asimismo, aunque no sea idóneo para el combate en zonas urbanizadas, si encontramos que los manuales recalcan algunas bondades de utilizar los CC en áreas residenciales o industriales [6]. En dichas áreas, las avenidas de aproximación son más amplias por lo que los CC combinados con un ECP y zapadores son de gran valor.

2.2. Estado actual del sistema de visión del Carro de Combate Leopard 2E.

Con las escotillas cerradas, la tripulación obtiene información de las áreas cercanas al CC mediante el uso de los periscopios. Los periscopios cuentan con los siguientes ángulos de visión [10] (la superficie en gris es el área no visible):

2.2.1. Jefe de Carro.

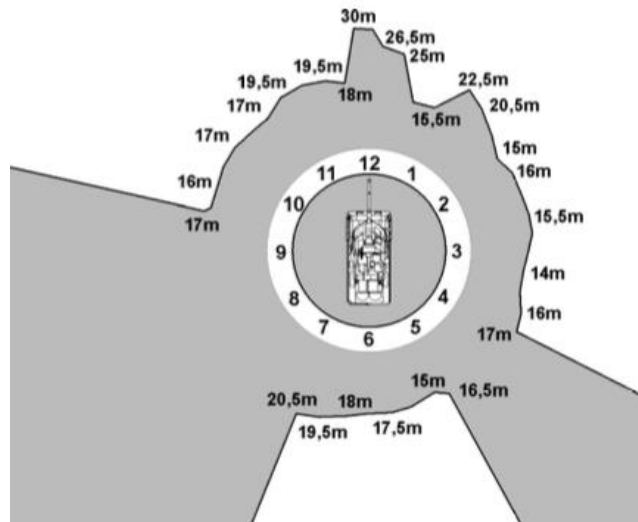


Figura 1. Área Visible del Jc. con torre a las 1200. Fuente: MT6-049.

2.2.2. Cargador.

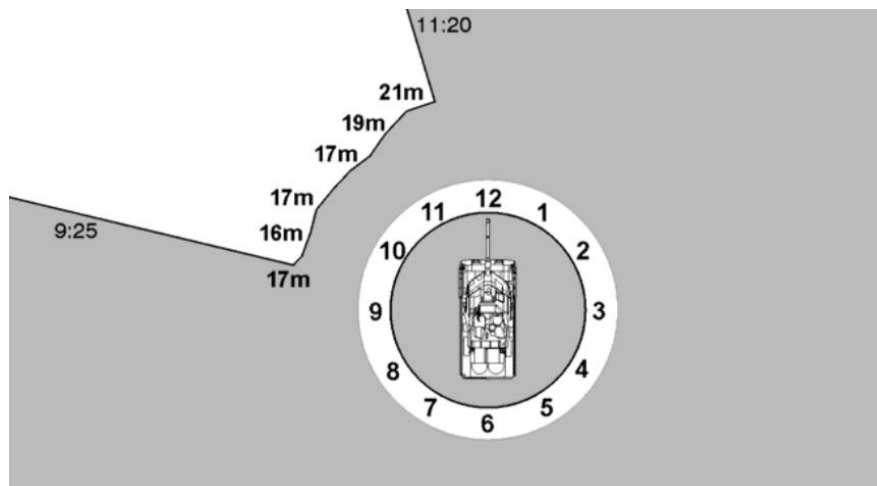


Figura 2. Área visible del cargador con torre a las 1200. Fuente: MT6-049.

2.2.3. Conductor.

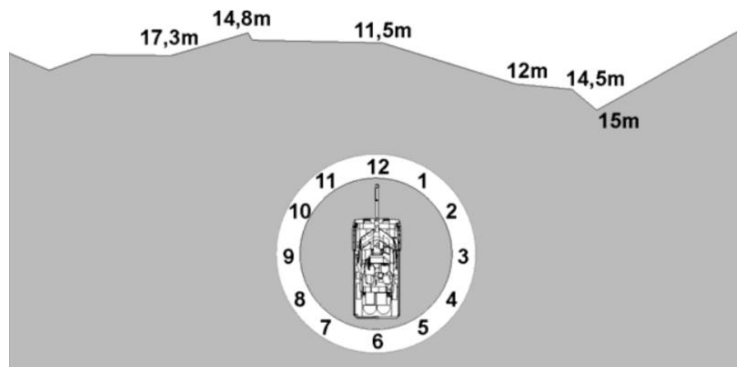


Figura 3. Área visible del conductor con torre a las 1200. Fuente: MT6-049.

2.2.4. Cámara de visión marcha atrás.

Los CC Leopard 2E cuentan con una cámara de visión marcha atrás que le permite al conductor tener visión de la parte trasera del CC sin necesidad de recibir indicaciones del exterior.

El campo de visión que ofrece la cámara trasera es el siguiente:

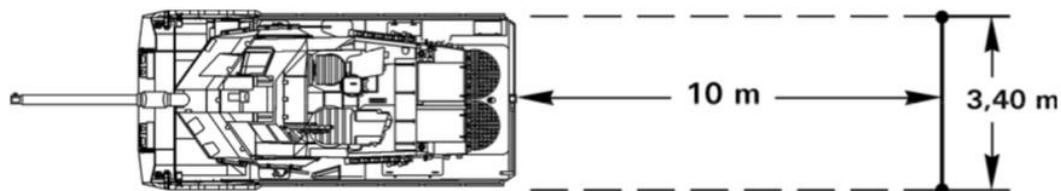


Figura 4. Área visible de la cámara de visión marcha atrás. Fuente: MT&-049 Manual técnico de tripulación.

2.2.5. Justificación de la importancia del sistema de visión.

A la luz de los resultados, el CC Leopard 2E no dispone de un sistema eficaz de visión del área cercana al mismo. Salvo la cámara trasera que muestra información a menos de 10 metros de distancia, el resto de los sistemas empiezan a ser eficaces alrededor de los 15 metros. Cabe resaltar que la cámara de visión marcha atrás no tiene un modo nocturno por lo que, únicamente, se contaría con la visión nocturna de los periscopios por lo que deberían encenderse las luces del CC para generar artificialmente la luz necesaria para que la cámara de visión marcha atrás pudiera captar imágenes distinguibles. Actualmente, en el arco nocturno, las unidades acorazadas cuentan con visores nocturnos AN-PVS que son utilizados por el cargador, quien, asomado por la escotilla, es el que proporciona la información sobre el área cercana al CC, siendo el responsable del movimiento del mismo.¹

2.3. Alternativas de mejora del sistema de visión del Carro de Combate Leopard 2E.

Tras observar las carencias existentes en el sistema de visión del CC Leopard 2E y concluir que existe una necesidad de suplir dicha carencia de acuerdo con lo previsto por la DDN y la ESN, se proponen 3 posibles alternativas ofrecidas por distintos expertos en la materia. Las tres alternativas surgieron de distintas entrevistas con Cuadros de Mandos (CUMAS) del Regimiento Acorazado (RAC) 61 y de los especialistas del escalón de mantenimiento. Una vez determinado los tres tipos de cámaras que se buscaban, térmica, intensificador de luz y cámara de infrarrojos, se prosiguió a buscar empresas que tuvieran relación con el sector defensa, por lo que se escogieron empresas

¹ Experiencia propia en las unidades acorazadas: Regimiento de Infantería Mecanizada “Castilla” nº 16, unidad con la que realicé unas maniobras en San Gregorio (2018) y Regimiento de Infantería Acorazada “Alcázar de Toledo” nº 61, unidad con la que realicé las prácticas de 5º. Ambas unidades siguieron el mismo procedimiento anteriormente descrito cuando se trabajaba en el arco nocturno y existía un ECP.

fabricantes de cámaras que trabajaran con Indra Sistemas, SA. Una vez obtenidas las empresas, se eligieron los productos que mejor se ajustaban a las cámaras que se habían propuesto por los expertos, cámaras térmicas, amplificadores de luz y de infrarrojos. Con la selección de material hecha se procedió a eliminar aquellas que no podían ser instalables en el CC (voltaje superior a 28V). De las alternativas instalables, se seleccionaron para cada uno de los tres tipos de opciones, aquellas con las mejores prestaciones. Finalmente, las cámaras elegidas para su evaluación fueron: cámara Axis Q1647 Network Camera, cámara DS-2TX3636-SP y DF4910HD-DN/IR.

2.3.1. Axis Q1647 Network Camera.

La cámara de vídeo Axis es un amplificador de luz que cuenta con las siguientes características:

AXIS Q1647 Network camera:	
Estímulo:	Reproducción de vídeo.
Resolución:	3072x1728
Temperatura de utilización:	-20°C - 60°C
Humedad:	< 85%
Luminosidad mínima:	0,02 lux.
Ángulo de visión:	95°
Coste de adquisición:	1.630€
Recambios:	1.200€
Tiempo de espera:	15-20 días.
Discreción:	Sí.
Consumo:	5.3W – 11.2W

Tabla 1. Elaboración propia con información obtenida mediante comunicación con la empresa AXIS communications.

Como características adicionales se puede añadir que:

- Es compatible con emisores de luz infrarroja (IR) que permiten su empleo con 0 lux.
- Trabaja con un rango de voltaje de entre 8-28V. Por lo que es compatible con las prestaciones del CC.

2.3.2. DS-2TX3636-SP.

Esta cámara de la marca Hikvision es una cámara de visión termográfica que cuenta con las siguientes características:

DS-2TX3636-SP:	
Estímulo:	Reproducción de vídeo.
Resolución:	1920x1080
Temperatura de utilización:	-20°C - 65°C
Humedad:	< 90%
Luminosidad mínima:	0 lux.
Ángulo de visión:	58´7°
Coste de adquisición:	1.900€
Recambios:	1.600€
Tiempo de espera:	15-20 días.
Discreción:	Sí.
Consumo:	15W – 80W

Tabla 2. Elaboración propia con información obtenida en www.hikvision.com [11]

Como características adicionales se pueden incluir:

- Es compatible con emisores de (IR) que permiten su empleo con un menor gasto energético.
- Trabaja con un rango de voltaje de 24V. Por lo que es compatible con las prestaciones del CC.
- Permite reproducir las imágenes en balance de blancos, lo que facilita la identificación de medios.

2.3.3. DF4910HD-DN/IR.

Esta cámara incorpora iluminación con IR lo que le permite tener visión con hasta 0 lux. de luminosidad.

DF4910HD-DN/IR:	
Estímulo:	Reproducción de vídeo.
Resolución:	1920x1080
Temperatura de utilización:	-30°C - 50°C
Humedad:	< 90%
Luminosidad mínima:	0 lux.
Ángulo de visión:	82°
Coste de adquisición:	1.800€
Recambios:	1.700€
Tiempo de espera:	10-12 días.
Discreción:	No.
Consumo:	12W

Tabla 3. Elaboración propia con información obtenida mediante comunicación con la empresa sourcesecurity.

Como características adicionales se puede añadir que:

- Cuenta con una calificación de IP 66 lo que puede abaratar el coste de carcasas para protegerla.
- Trabaja con un rango de voltaje de 24V. Por lo que es compatible con las prestaciones del CC.

2.4. Elección de Criterios y subcriterios.

Para la realización de un análisis simple y relevante, se ha de realizar una selección de los criterios y subcriterios en la elección de las mejoras del sistema de visión del CC Leopardo 2E. La selección de los criterios se ha extraído de los documentos citados en el apartado 2.1.1 Necesidades presentes y futuras., además de los criterios expuestos por los expertos en la materia del RAC 61, tanto CUMAS como especialistas del escalón de mantenimiento. Tal y como se ha explicado en el apartado de selección de las alternativas, se realizaron entrevistas con ellos para que expusieran sus criterios. Una vez expuestos los criterios entre el Director Militar (DIRMIL) y el tutor, se concluyó que los más relevantes son los siguientes:

1. **Flexibilidad:** en esta área se busca valorar el rendimiento del sistema para operar en distintos ambientes, además de su eficiencia dentro del sistema de armas que es el CC. En esta área han de destacarse los siguientes subcriterios:

- a) Espectro de utilización: la mejora del sistema debe ser utilizable en el mayor espectro posible, coincidiendo con las condiciones de operatividad del CC, distintos ambientes de humedad, temperatura, luminosidad, etc.
- b) Amplitud visual: la mejora del sistema ha de incrementar el campo visual de la tripulación del CC notablemente, lo que le permita maniobrar con un ECP cercano con mayor seguridad.

2. Costes: la necesidad de optimizar los recursos económicos en las FAS [12] hace que el precio del producto sea uno de los criterios a tener en cuenta.

- a) Adquisición: en este subcriterio se tendrá en cuenta el coste unitario del total de la mejora por CC, un coste reducido favorece la implementación de dicha mejora en las unidades pues facilita la gestión y optimiza los recursos.
- b) Repuestos: en esta área se tendrá en cuenta el coste de los repuestos en caso de avería. En caso de no ser posible el suministro de repuestos, se valorará la posibilidad de beneficiarse de algún tipo de descuento en la adquisición de nuevas unidades. Nuevamente, el reducido coste de los repuestos favorecería su adquisición y la consiguiente supervivencia de la mejora pues unos repuestos con coste bajo son más viables de adquirir y, por ende, de tener la mejora operativa a lo largo del tiempo.
- c) Flujo de suministros: también se tendrá en cuenta el tiempo de entrega de los productos, pues los tiempos de espera afectan a la operatividad de los CC impidiendo que estos puedan estar operativos.

3. Operatividad: en este campo se busca que la mejora del sistema de visión del CC no afecte en las operaciones para las que se emplea ni cree vulnerabilidades.

Por lo que dentro de esta área encontramos los siguientes subcriterios:

- a) Autoprotección: en la actualidad, los CC buscan ser elementos más discretos para los medios ISTAR enemigos, en lo que destaca la reducción de la firma térmica y el control de las emisiones por elementos de radiofrecuencia. Por lo que la mejora debe ir en sintonía con dichas necesidades.
- b) Consumo: teniendo en cuenta que la autonomía es uno de los factores más importantes en las unidades de CC, es necesario conocer en qué medida el sistema de mejora afectaría al consumo de combustible, reduciendo la autonomía del CC, lo que conlleva una mayor necesidad de apoyo logístico.
- c) Sencillez de interpretación: se trata de un sistema que debe ser capaz de interpretar el conductor del CC mientras dirige el movimiento del CC. Por lo que la información proporcionada por la mejora debe ser interpretada en el menor tiempo posible, de tal forma que al conductor del CC no le conlleve una mayor carga de trabajo.

Debido a la dificultad que conlleva el análisis de características cualitativas para, posteriormente, realizar una comparación de las posibles mejoras a implementar en los CC Leopardo 2E, se hará uso del análisis multicriterio de proceso jerárquico (AHP son sus siglas en inglés). Mediante el uso de la herramienta AHP se realizará la valoración de los criterios y subcriterios citados anteriormente.

Capítulo 3. Metodología y resultados.

En este trabajo se propone un análisis de alternativas que permita tener en cuenta aspectos cualitativos y cuantitativos debido a que no es posible establecer la totalidad de los escenarios de uso posibles ya que requiere un juicio general que condense una visión de muchos aspectos a través de valoraciones cualitativas. Así, atributos tales como discreción, sencillez de interpretación o espectro de utilización pretenden recoger aspectos generales que serán valorados por expertos en función de su importancia.

En la actualidad, existen gran cantidad de herramientas para el análisis cualitativo de atributos, no obstante, en este trabajo se ha optado por la aplicación del método de análisis multicriterio AHP. Dicha herramienta permite el análisis de distintos criterios con sus consiguientes subcriterios y alternativas, de tal forma que realiza una ponderación y clasificación de estos, finalizando con una propuesta única [13]. Asimismo, el método AHP permite realizar análisis de sensibilidad a posteriori, lo que puede otorgar mayor respaldo a los resultados obtenidos.

3.1. Metodología del análisis AHP.

El método AHP se creó en los años 60 por parte del profesor Saaty (1926-2017) como un método de comparación por pares que permite utilizar atributos intangibles mediante la valoración de la intensidad con la que un atributo es preferido a otro [14]. Por lo que, para la aplicación del método, se necesita determinar un número de alternativas, criterios y subcriterios finitos para luego realizar comparaciones dos a dos mediante un proceso iterativo. Finalmente, el método AHP ofrece una solución única. La solución es una matriz que jerarquiza los criterios utilizados y, a continuación, las alternativas planteadas al principio del proceso.

Según Orts Palés, Vinuesa Guerrero y Castro Torres [15] el método AHP permite cuantificar las variables cualitativas basándose en *“la capacidad extraordinaria del cerebro del hombre para comparar entre distintas alternativas según un criterio dado”*. De esta manera se consigue ordenar jerárquicamente los criterios y subcriterios de forma que se prioricen unos sobre otros. El método consigue que se transformen criterios cualitativos en series de números aplicables a matrices que integran criterios cualitativos y cuantitativos que, de otra forma, serían imposibles de comparar objetivamente. Asimismo, el AHP posibilita la realización de posteriores reajustes de los resultados obtenidos, lo que permite realizar correcciones sobre los mismos o afirmar aún más el resultado obtenido. Toskano y Hurtado. [16].

Para realizar el proceso AHP existen multitud de programas en el mercado informático, no obstante, para la realización de este trabajo se hecho uso del programa AyudaDecision_AHO_net_4.0, facilitado por el Teniente Coronel Carlos Luis Ruiz López, profesor del Centro Universitario de la Defensa (CUD).

Para la realización del TFG se han usado los datos obtenidos mediante las encuestas realizadas a los expertos de la unidad donde realicé las prácticas, RAC 61. Todos los

encuestados cuentan con gran experiencia en unidades de infantería acorazada y más concretamente en el empleo del CC Leopardo 2E. Asimismo, la realización de ejercicios internacionales por parte de dicha unidad hace que cuente con amplios conocimientos sobre CC de países del entorno OTAN. Las encuestas se realizaron a 8 CUMAS y 10 militares de la escala de tropa.

3.2. Pasos a seguir para la estructuración de un modelo jerárquico.

Según Toskano y Hurtado [16], los pasos a seguir para la estructuración de un modelo jerárquico son los siguientes:

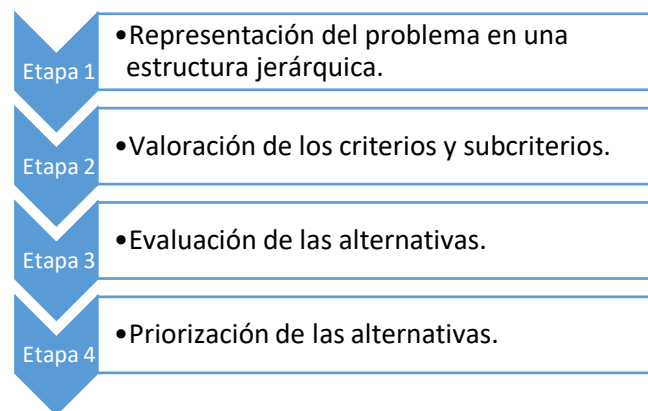


Figura 5. Estructuración de un modelo jerárquico. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Representación del problema en una estructura jerárquica.

Corresponde a la representación del caso estudiado a través de un árbol de jerarquías. Dentro del árbol de jerarquía quedan representados, en la parte superior el objetivo del análisis; en los niveles intermedios se encuentran los criterios y subcriterios; y, finalmente, el nivel inferior está ocupado por las distintas alternativas propuestas para alcanzar el objetivo. Además, cada elemento de un nivel ha de estar necesariamente relacionado con, por lo menos, otro elemento de un nivel inmediatamente inferior. Yepes Piqueras [17].

El caso de estudio queda representado en el siguiente árbol de jerarquías:

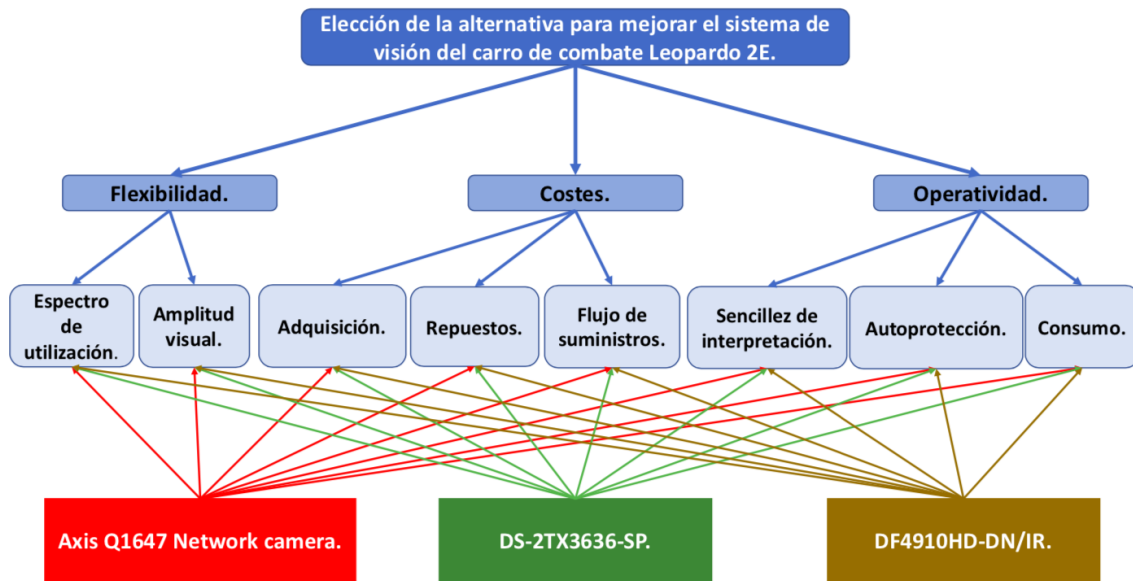


Figura 6. Árbol de jerarquías. Fuente: Elaboración propia.

En el árbol de jerarquía se puede observar que el caso de estudio de este trabajo tiene cuatro niveles, siendo de arriba hacia abajo, los siguientes: Objetivo, criterios, subcriterios y alternativas propuestas para la solución del problema.

3.2.2. Valoración de criterios y subcriterios.

Para aplicar el método AHP es necesario comparar por pares todos los criterios y subcriterios ya que, al realizarlo, se permite valorar los pesos de los distintos criterios y subcriterios propuestos. Además, el peso relativo se utiliza también para el cálculo del peso final de las alternativas para solucionar el problema.

Para ello, se ha de evaluar criterios y subcriterios de forma diferenciada, a través de una comparación por pares. De esta forma, se crean las matrices comparativas que posibilitan la comparación de criterios y subcriterios. Para realizar la valoración de los criterios y subcriterios de forma cualitativa, debemos recurrir a los valores propuestos por Saaty. [18]

ESCALA DE PREFERENCIAS.	
Juicios sobre las preferencias.	Calificación numérica.
Extremadamente preferible.	9
(Entre muy fuertemente y extremadamente preferible).	8
Muy fuertemente preferible.	7
(Entre fuertemente y muy fuertemente preferible).	6
Fuertemente preferible.	5
(Entre moderadamente y fuertemente preferible).	4
Moderadamente preferible.	3
(Entre igualmente y moderadamente preferible).	2
Igualmente preferible.	1

Tabla 4. Escala de preferencias. Fuente: Saaty (1977).

En las matrices obtenidas debe aplicarse el proceso matemático que se describe a continuación, con el objetivo de obtener el peso que se asignará a cada una de las variables.

A partir de las encuestas realizadas a los expertos (adjuntadas en el Apéndice A), se obtiene la valoración de las distintas opciones entre 1 y 9 (valor mínimo y máximo en la escala de Saaty) el grado de superioridad de una opción sobre la otra.

Una vez conocidos los resultados se obtuvo la media de los valores calculados en cada opción. Después, se dividió el valor de la alternativa con una media superior por la alternativa con la menor media. De esta forma se consigue adjudicar el peso de cada criterio según la adquisición propuesta por Saaty que se expone a continuación, siendo A la mayor medio y B la menor:

Resultado de A/B.	Valoración según la escala de Saaty.
[1; 1,1)	1
[1,1; 1,5)	3
[1,5; 3)	5
[3; 4)	7
[4; ∞)	9

Figura 7. Intervalos de valoración de acuerdo con los resultados obtenidos. Fuente: Saaty y Vargas 1991.

De esta forma se calcularon los valores (véase Apéndice B) que deben introducirse en las matrices de comparación.

Como ejemplo podemos observar: las medias obtenidas en el criterio *Flexibilidad* (A) y *Costes* (B) son A= 6,35 y B= 5. Observándose que la media A es superior se procede

a realizar la división $A/B = 1,27$. El valor se encuentra dentro del intervalo $[1,1; 1,5)$, como se puede observar en la Figura 7, por lo que la celda que compara A frente a B obtiene el valor 3.

Cálculo de los pesos de los criterios:

A la luz de los resultados obtenidos anteriormente y tras la aplicación de la valoración de Saaty, se obtiene la matriz A dando como resultado los valores de los criterios. La matriz resultante tiene la siguiente estructura:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix} \text{ donde } a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \text{ y } a_{ii} = 1. \quad (1)$$

En la investigación, el resultado de la evaluación de los criterios fue la siguiente:

CRITERIOS:	Flexibilidad	Costes	Operatividad
Flexibilidad	1	3	1/3
Costes	1/3	1	1/5
Operatividad	3	5	1

Tabla 5. Matriz de criterios. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la diagonal principal de la matriz siempre tendrá valor uno, pues es el resultado de comparar un criterio consigo mismo.

Tras el cálculo de la matriz A, se debe normalizar los valores obtenidos. Para ello, se divide el valor de cada una de las celdas entre el sumatorio de los valores de la columna a la que pertenece. De esta forma se obtiene la matriz normalizada A' cuya estructura es la siguiente:

$$A' = \begin{pmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \cdots & \frac{a_{1m}}{\sum a_{im}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \cdots & \frac{a_{nm}}{\sum a_{im}} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Para el cálculo de los pesos relativos (W_i) de los criterios se debe obtener la media aritmética de cada fila de la matriz normalizada calculada anteriormente siguiendo la formula siguiente:

$$W \rightarrow \begin{pmatrix} a'_{11} & + & \cdots & + & a'_{1m} \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ a'_{n1} & + & \cdots & + & a'_{nm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

$W = \begin{pmatrix} \frac{X_1}{m} \\ \vdots \\ \frac{X_n}{m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix}$	(4)
---	-----

De esta forma se obtiene el vector de prioridades W cuya estructura, como se puede observar en la fórmula (4) es la de una matriz de una columna. Dicha matriz representa el peso atribuido a cada uno de los criterios. En este trabajo, el peso atribuido a cada uno de los criterios seleccionado es el que se expone a continuación:

PESOS (W):
0,26
0,11
0,63

Tabla 6. Vector de prioridades de los criterios. Fuente: Elaboración propia.

Observe que la suma del total de los pesos de los criterios da un total de uno. Esto es debido a que la ponderación de estos está normalizada.

Cálculo de la consistencia de los pesos obtenidos de los criterios:

Después de conocer los pesos de cada uno de los criterios, deberá calcularse la consistencia de los resultados. Es sabido que la consistencia perfecta en comparaciones de opiniones aportadas por humanos es altamente improbable. Por esta razón, deberá de calcularse el nivel de inconsistencia asumido. El nivel de inconsistencia no deberá superar el valor de 0,1 en las matrices obtenidas ya que, según la metodología AHP, si se obtuviera un valor superior a 0,1; la matriz obtenida tendría un grado de incoherencia que impediría asumir sus resultados como vinculantes.

Para la comprobación de la inconsistencia de las matrices se calculará el valor de un indicador denominado Razón de Inconsistencia (RI), según la siguiente fórmula:

$RI = \frac{IC}{CA}$	(5)
----------------------	-----

Como se puede observar, para poder hallar RI , primero debe obtenerse los valores del Índice de Consistencia (IC) y el de la Consistencia Aleatoria (CA).

Para obtener el valor del IC se debe aplicar la siguiente fórmula:

$IC = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1}$	(6)
--	-----

Donde λ_{\max} se obtiene de la multiplicación de las matrices $A*W$ (7) y de la posterior división de cada una de las celdas de las matrices resultantes entre su correspondiente W_i (8).

$\begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} * W_1 + \cdots + a_{1m} * W_n \\ \vdots \\ a_{n1} * W_1 + \cdots + a_{nm} * W_n \end{pmatrix}$	(7)
$\begin{pmatrix} \frac{a_{11} * W_1 + \cdots + a_{1m} * W_n}{W_1} \\ \vdots \\ \frac{a_{n1} * W_1 + \cdots + a_{nm} * W_n}{W_n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_{\max_1} \\ \vdots \\ \lambda_{\max_n} \end{pmatrix}$	(8)

Tras realizar dichos cálculos, deberá obtenerse un único valor de λ_{\max} . Para ello debe calcularse la media aritmética de los valores de λ_{\max} obtenidos según la siguiente fórmula:

$\lambda_{\max} = \frac{\lambda_{\max_1} + \cdots + \lambda_{\max_n}}{n}$	(9)
---	-----

Por otro lado, el valor de N en la fórmula (6) se corresponde con el número de filas de la matriz de la cual se busca obtener el RI .

Una vez calculado el valor de IC , se procederá a calcular el valor de la CA . Para ello se utilizará la siguiente tabla que contiene los valores propuestos por Saaty (1998):

Valores de la CA según el tamaño de la matriz normalizada (N).															
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CA	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Tabla 7. Valores de la CA. Fuente: T.L. Saaty (1998).

Una vez que ya se han obtenido IC y CA , el siguiente paso es el cálculo de RI de cada una de las matrices usando la fórmula (6).

En este trabajo, el resultado de la inconsistencia de los pesos de los criterios es 0,0334 que se corresponde con un valor inferior al límite propuesto por Saaty de 0,1. A la luz de los resultados se puede afirmar que el nivel de coherencia de los datos obtenidos es aceptable, por lo que los resultados de las encuestas de comparación tienen un nivel de coherencia razonable.

Cálculo de los pesos de los subcriterios:

Para el cálculo de los pesos de los subcriterios debe aplicarse el mismo procedimiento aplicado a los criterios. De esta forma se obtienen las matrices de

valoración de los subcriterios, los vectores de los pesos relativos y su *RI* correspondiente. Finalmente, tras aplicarse dicho procedimiento, se obtienen las siguientes matrices:

FLEXIBILIDAD:	Espectro de utilización	Amplitud visual	PESOS (W):
Espectro de utilización	1	1	0,50
Amplitud visual	1	1	0,50
R.I. : 0,0000			

Tabla 8. Valoración del subcriterio Flexibilidad. Fuente: Elaboración propia.

COSTES:	Adquisición	Repuestos	Flujo de suministros	PESOS (W):
Adquisición	1	1	1/5	0,14
Repuestos	1	1	1/5	0,14
Flujo de suministros	5	5	1	0,71
R.I. : 0,0000				

Tabla 9. Valoración del subcriterio Costes. Fuente: Elaboración propia.

OPERATIVIDAD:	Autoprotección.	Consumo.	Sencillez de interpretación	PESOS (W):
Autoprotección.	1	5	1/3	0,28
Consumo.	1/5	1	1/7	0,07
Sencillez de interpretación	3	7	1	0,64
R.I. : 0,0565				

Tabla 10. Valoración del subcriterio Operatividad. Fuente: Elaboración propia.

A la luz de los resultados, puede observarse que las matrices cumplen con los criterios exigidos de coherencia. Se cumple que es uno el valor de las diagonales principales, el sumatorio de los pesos relativos de cada una de las matrices es uno y, por último, los *RI* respectivos a cada una de las matrices es inferior al 0,1.

Como puede observarse, los subcriterios de flexibilidad tienen la misma ponderación, por lo que son igualmente preferibles por parte de los expertos. Por otro

lado, dentro del criterio costes, el subcriterio con mayor peso es el flujo de suministros (0,71). Finalmente, dentro del criterio operatividad destaca el subcriterio sencillez de interpretación con un peso de (0,64).

3.2.3. Evaluación de las alternativas.

Ahora se procederá a la evaluación de las tres alternativas que se ha propuesto para mejorar el sistema de visión del CC Leopardo 2E. Para ello se construyen una matriz para cada subcriterio seleccionado y, posteriormente, se comparan dos a dos las distintas alternativas en función de su grado cumplimiento con el subcriterio seleccionado. Después, debe calcularse los pesos asignados a cada una de las alternativas y, a continuación, la *RI* para cada una de las matrices resultantes, de la misma forma que se ha realizado anteriormente en este trabajo para los criterios y subcriterios. Las tablas resultantes de dicho proceso son las que se muestran a continuación:

ESPECTRO DE UTILIZACIÓN:	Axis Q1647	DS-2TX3636-SP	DF4910HD-DN/IR	PESOS (W):
Axis Q1647	1	1/5	3	0,18
DS-2TX3636-SP	5	1	9	0,75
DF4910HD-DN/IR	1/3	1/9	1	0,07
R.I. : 0,0252				

Tabla 11. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Espectro de utilización. Fuente: Elaboración propia.

AMPLITUD VISUAL:	Axis Q1647.	DS-2TX3636-SP	DF4910HD-DN/IR	PESOS (W):
Axis Q1647	1	5	3	0,63
DS-2TX3636-SP	1/5	1	1/3	0,11
DF4910HD-DN/IR	1/3	3	1	0,26
R.I. : 0,0334				

Tabla 12. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Amplitud visual. Fuente: Elaboración propia.

ADQUISICIÓN:	Axis Q1647	DS-2TX3636-SP	DF4910HD-DN/IR	PESOS (W):
Axis Q1647	1	3	3	0,60
DS-2TX3636-SP	1/3	1	1	0,20
DF4910HD-DN/IR	1/3	1	1	0,20
R.I. : 0,0000				

Tabla 13. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Adquisición. Fuente: Elaboración propia.

REPUESTOS:	Axis Q1647	DS-2TX3636-SP	DF4910HD-DN/IR	PESOS (W):
Axis Q1647	1	3	3	0,60
DS-2TX3636-SP	1/3	1	1	0,20
DF4910HD-DN/IR	1/3	1	1	0,20
R.I. : 0,0000				

Tabla 14. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Repuestos. Fuente: Elaboración propia.

FLUJO DE SUMINISTROS:	Axis Q1647	DS-2TX3636-SP	DF4910HD-DN/IR	PESOS (W):
Axis Q1647	1	1	1/5	0,14
DS-2TX3636-SP	1	1	1/5	0,14
DF4910HD-DN/IR	5	5	1	0,71
R.I. : 0,0000				

Tabla 15. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Flujo de suministros. Fuente: Elaboración propia.

AUTOPROTECCIÓN:	Axis Q1647	DS-2TX3636-SP	DF4910HD-DN/IR	PESOS (W):
Axis Q1647	1	1	5	0,45
DS-2TX3636-SP	1	1	5	0,45
DF4910HD-DN/IR	1/5	1/5	1	0,09
R.I. : 0,0000				

Tabla 16. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Autoprotección. Fuente: Elaboración propia.

CONSUMO:	Axis Q1647	DS-2TX3636-SP	DF4910HD-DN/IR	PESOS (W):
Axis Q1647	1	9	3	0,65
DS-2TX3636-SP	1/9	1	1/7	0,06
DF4910HD-DN/IR	1/3	7	1	0,29
R.I. : 0,0701				

Tabla 17. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Consumo. Fuente: Elaboración propia.

SENCILLEZ DE INTERPRETACIÓN:	Axis Q1647	DS-2TX3636-SP	DF4910HD-DN/IR	PESOS (W):
Axis Q1647	1	1/3	3	0,26
DS-2TX3636-SP	3	1	5	0,63
DF4910HD-DN/IR	1/3	1/5	1	0,11
R.I. : 0,0334				

Tabla 18. Evaluación de las alternativas para el subcriterio Sencillez de interpretación. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, todas las tablas vuelven a cumplir los requisitos. Valor uno en las diagonales principales de las matrices, los sumatorios de los pesos relativos de cada matriz es uno también y el valor del indicador *RI* se encuentra, en cada una de ellas, por debajo de 0,1.

Además, a la luz de los resultados obtenidos se puede observar que la cámara Axis Q1647 tiene la mayor puntuación en los subcriterios de espectro de amplitud visual

(0,63), adquisición (0,60), repuestos (0,60) y consumo (0,64). Por otro lado, la cámara DS-2TX3636-SP obtuvo la mayor puntuación en los subcriterios de espectro de utilización (0,75) y sencillez de interpretación (0,63). Finalmente, la cámara DF4910HD-DN/IR obtuvo únicamente la mayor puntuación en el subcriterio flujo de suministros (0,71).

3.2.4. Orden de prioridad de las alternativas.

En esta última etapa, el método AHP muestra la matriz de decisión final. En dicha matriz se muestran ordenadas de mejor a peor las alternativas propuestas. De esta forma, el método combina los juicios realizados por expertos, a través de los vectores de peso calculados anteriormente para, finalmente, mostrar la alternativa idónea de acuerdo con los criterios y subcriterios utilizados para evaluar las alternativas.

La matriz de decisión final obtenida en este trabajo es la que se muestra a continuación:

MATRIZ DE DECISIÓN				
CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	Axis Q1647	DS-2TX3636-SP	DF4910-DN/IR
Flexibilidad	0,26	0,41	0,43	0,17
+ Espectro utilización	0,50	0,18	0,75	0,07
+ Amplitud visual	0,50	0,63	0,11	0,26
Costes	0,11	0,27	0,16	0,57
+ Adquisición	0,14	0,60	0,20	0,20
+ Repuestos	0,14	0,60	0,20	0,20
+ Flujo suministros	0,71	0,14	0,14	0,71
Operatividad	0,63	0,52	0,25	0,23
+ Sencillo interpretar	0,28	0,26	0,63	0,11
+ Autoprotección	0,07	0,45	0,45	0,09
+ Consumo	0,64	0,65	0,06	0,29
		0,47	0,29	0,25

Tabla 19. Matriz de decisión. Fuente: Elaboración propia.²

² Debe observarse que algunos de los nombres de los subcriterios han sufrido modificación respecto a los planteados en este trabajo. Esto es debido a que la longitud de los nombres no era aceptada por el programa, por lo que han cambiado de la siguiente forma: Espectro de utilización, flujo de suministros y sencillez de interpretación por espectro utilización, flujo suministros y sencillo interpretar respectivamente.

Capítulo 4. Propuesta de instalación.

Para la instalación de las cámaras térmicas en el CC y mejorar el sistema de visión se propone la disposición que puede observarse en las siguientes imágenes:

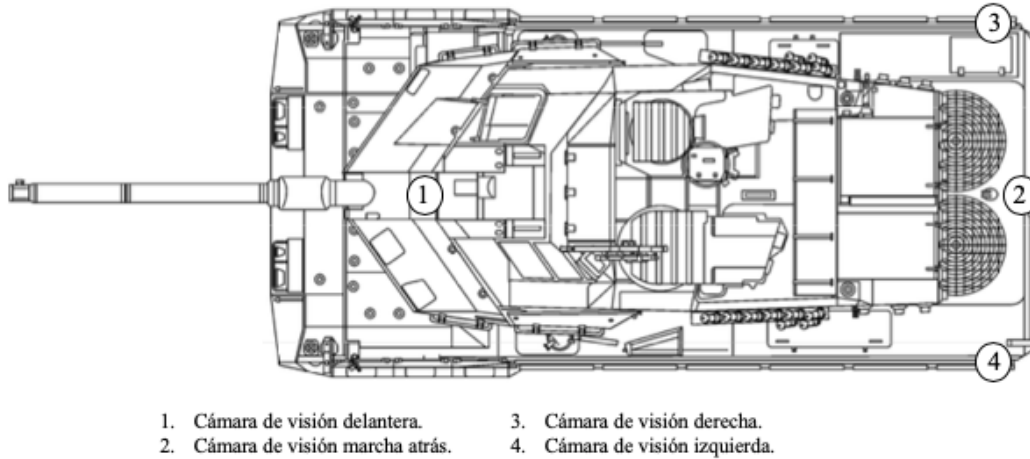


Figura 8. Vista superior de la instalación de las cámaras en el CC Leopard 2E. Fuente: Elaboración propia.

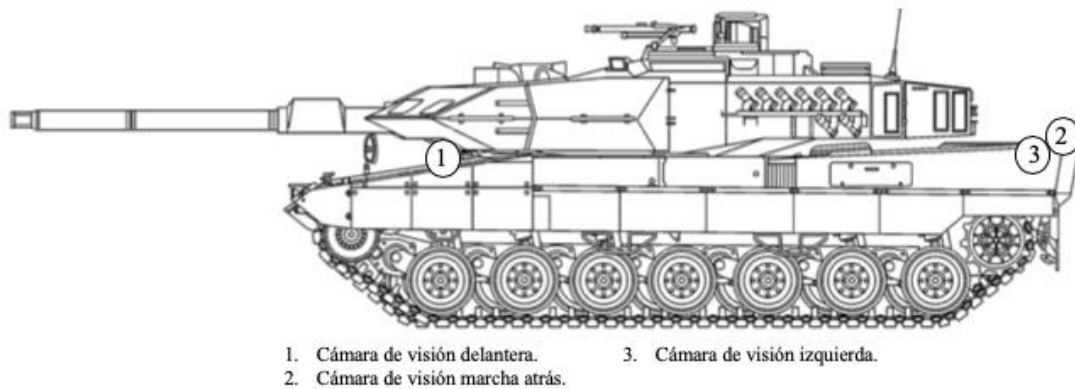


Figura 9. Vista de perfil de la instalación de las cámaras en el CC Leopard 2E. Fuente: Elaboración propia.

Para la instalación electrónica de las cámaras se va a aprovechar la ya existente para la cámara de visión marcha atrás que puede observarse en la siguiente imagen:

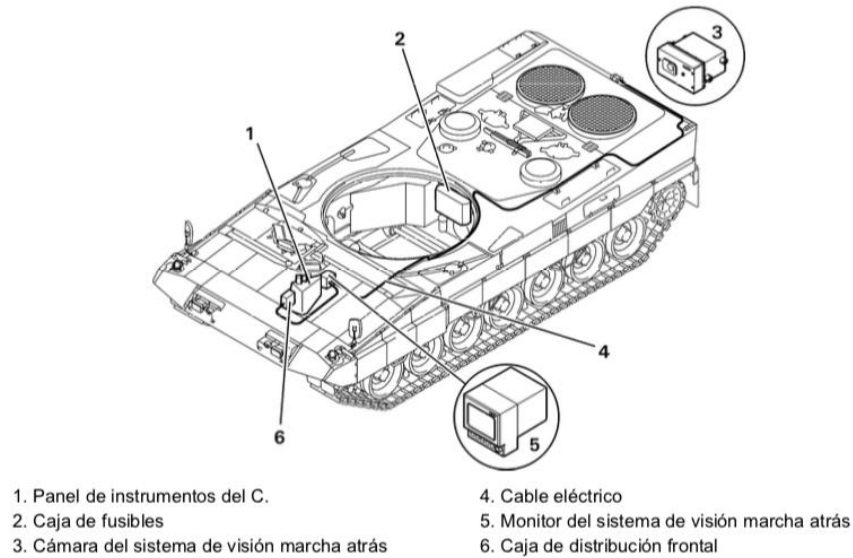


Figura 10. Sistema de visión marcha atrás. Fuente: MT6-049.

Como puede observarse, para su montaje se puede aprovechar la instalación previa de la cámara de visión marcha atrás, por lo que habría que realizar los taladros pertinentes para la instalación de las cámaras laterales. Para su colocación se ha tenido en cuenta que dicha área es hueca (Apéndice C) y, por ende, se puede perforar para instalar las conexiones. Por otro lado, la cámara de visión delantera aprovecha la instalación de una cámara que se encuentra en evaluación en el RAC 61 (Apéndice D). Por lo que, una vez realizados los taladros únicamente habría que acoplar al carro el armazón para depositar las cámaras.

A partir de la posición elegida para la instalación de las cámaras y el resultado obtenido del método AHP en el apartado 3.2.4 Orden de prioridad de las alternativas., se obtienen los ángulos de visión que aportaría la mejora del sistema. La superficie en azul es el área visible.

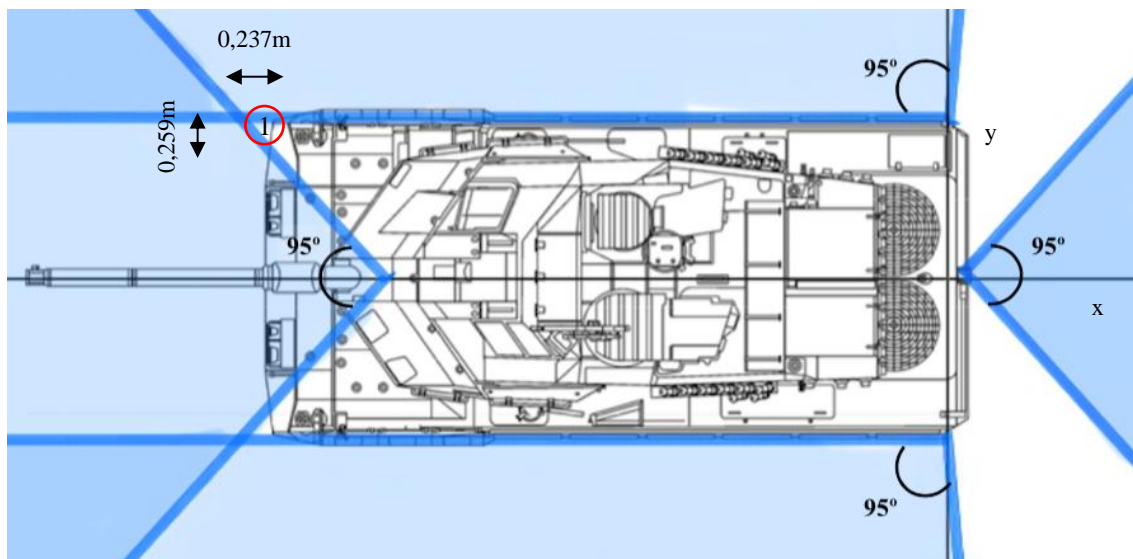


Figura 11. Vista superior de los ángulos de visión de las cámaras. Fuente: Elaboración propia.

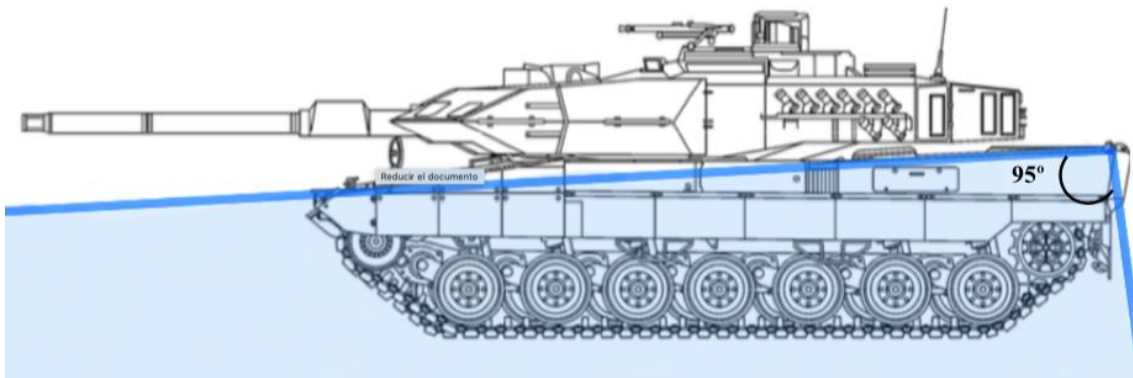


Figura 12. Vista de perfil de los ángulos de visión de las cámaras. Fuente: Elaboración propia.

A la luz de los resultados, las cámaras propuestas proporcionan información en forma de imagen del entorno cercano al CC. En esta propuesta de instalación se obtienen importantes mejoras en la visión del CC en la zona delantera. Dicha mejora permitiría maniobrar al CC con mayor agilidad cuando exista un ECP y, por ende, aumentar la seguridad en operaciones en las que se empleen CC y un ECP.

No obstante, pese al empleo de las cámaras, siguen existiendo ángulos muertos, destacando el área (1) de la Figura 11. Dicha área tiene un valor de $0,03\text{m}^2$ con los faldones pesados. Sin los faldones pesados su componente X tendría un valor de $0,082\text{m}$ y su componente Y $0,089\text{m}$ por lo que el área no visible descendería a $0,003\text{m}^2$.

Asimismo, cabe recalcar que este apartado es únicamente una propuesta de instalación. Para la total implementación de las cámaras habría que tener en cuenta más criterios que puedan afectar a las cámaras de visión nocturna, como el efecto de los disipadores de calor del motor, por ejemplo. Por lo que este apartado únicamente muestra una visión de las posibilidades que ofrece la mejora del sistema de visión, la correcta implementación de las cámaras en el sistema de visión quedaría fuera de alcance de este trabajo.

Capítulo 5. Conclusiones.

5.1. Conclusiones.

Para la elección de las cámaras para mejorar el sistema de visión del CC Leopardo 2E se han establecido como requisitos fundamentales que esta tecnología pueda ser instalable sin que el CC sufra importantes modificaciones (se han buscado cámaras de visión cuyo voltaje sea inferior a 28V³) y tener el menor gasto energético, ya que conlleva importantes detrimentos en el funcionamiento de los sistemas cuando el CC se encuentra estático, haciendo uso de la Unidad de Potencia Auxiliar (UPA).

El actual sistema de visión del CC Leopardo 2E presenta gran cantidad de deficiencias en el entorno más cercano al CC, contando únicamente con la cámara de visión marcha atrás como elemento auxiliar. Para establecer las prioridades de como subsanar este problema se ha recabado información de expertos y se ha buscado documentación para determinar un conjunto de criterios y subcriterios que permitan evaluar las alternativas. Se han distinguido tres criterios principales: flexibilidad, costes y operatividad. Estos criterios se desglosan a su vez en los siguientes subcriterios: Espectro de utilización, amplitud visual, adquisición, repuestos, flujo de suministros, autoprotección, consumo y sencillez de interpretación.

Se ha empleado el método AHP con la finalidad de objetivar el baremo de los pesos de los distintos criterios y subcriterios elegidos para el proceso de elección. Para ello se realizó una serie de encuestas a distintos expertos en la materia realizando una comparación por pares de los distintos criterios y subcriterios elegidos. Finalmente, los resultados muestran la importancia del criterio operatividad con un 0,63 y relega a la última posición a los costes con un valor de 0,11 pues, pese a la importancia de este criterio en el ámbito de las FAS, la diferencia entre los posibles precios respecto al valor total del CC se les planteaba poco importante en la adquisición de las cámaras. Por otro lado, en los subcriterios, destacan la sencillez de interpretación y un flujo de suministros eficaz.

Al final, tras la aplicación del método AHP y en consonancia con la jerarquización de los criterios y subcriterios, la cámara Axis Q1647, con una ponderación de 0,47; resulta ser la elección óptima. A continuación de la cámara Axis Q1647, vendría la cámara DS-2TX3636-SP con un 0,29; y como última alternativa, se encontraría la cámara DF4910HD-DN/IR con un 0,25.

Por último, cabe recalcar que las cámaras de visión marcha atrás tienen un precio de 6.390,71€⁴ frente a los 6.520€ que costarían las cuatro cámaras instaladas en el

³ Dato obtenido por parte de la Sección de mantenimiento del Escalón de barcaza del acuartelamiento El Goloso.

⁴ Dato obtenido de Sistema de Gestión Logística del Ejército (SIGLE).

apartado Capítulo 4 Propuesta de instalación. Por lo que dicha mejora no supondría un aumento sustancial del presupuesto de un carro de combate Leopard 2E.

5.2. Líneas futuras.

Pese al resultado alcanzado, hay que tener en cuenta que la cámara Axis Q1647 no se ha empleado militarmente, por lo que sería recomendable realizar un estudio más detallado sobre la viabilidad del material dentro del ámbito de las FAS. Asimismo, al tratarse de material para las FAS todo debe ser aprobado por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) antes de ser implementado en las unidades.

Por otro lado, hay que observar que existen gran cantidad de criterios y subcriterios para el análisis de este material, es por ello que los expertos en la materia deben tener conocimientos avanzados y actualizados sobre las necesidades de las unidades y el estado del arte. Asimismo, el mercado de las cámaras de visión cuenta con una gran cantidad de oferta, sin embargo, la información facilitada por las empresas es limitada, sobre todo cuando se trata de cámaras térmicas o con funcionamiento en el arco nocturno. Sería necesario realizar un estudio más detallado para una comparación más precisa. Además, la ponderación de los pesos de los criterios y subcriterios puede variar según los expertos que realicen las encuestas. Por lo que debería unificarse a nivel nacional quienes serían los expertos que disponen de la información necesaria para poder valorar los criterios a todos los niveles.

Para finalizar, una vez implementado las cámaras en el carro de combate, se debería instruir al personal a manejar el CC haciendo uso de ellas, pues no se conseguirá en ningún momento aumentar la seguridad con el ECP si la tripulación de los CC no emplea, eficazmente, los nuevos sistemas implementados.

Referencias

- [1] F. Navarro, La enciclopedia. Nº4., Madrid: Salvat, 2003.
- [2] L. Togores, «Los carros de combate que surgieron de la niebla en la I Guerra Mundial,» *La Razón*, 2019.
- [3] M. Villatoro, «Desembarco en Alhucemas, el «Día D» de las tropas españolas en el norte de África,» *ABC*, 2014.
- [4] MADOC, AGM-CM-012 "Táctica de Infantería I", Zaragoza, 2018.
- [5] J. Argumosa, «Tendencias que afectarán a las Fuerzas Armadas 2050,» *IEEE*, 24 Noviembre 2017.
- [6] MADOC, OR-125 "Orientaciones. Btallón de Infatería de Carros de Combate.", Granada, 2005.
- [7] Gobierno de España, «Estrategia de Seguridad Nacional,» 2017.
- [8] Gobierno de España, «Directiva de Defensa Nacional 2012,» Madrid, 2012.
- [9] M. Á. Rodríguez, «El carro de combate urbano,» *Revista Ejército.*, nº 854, pp. 55-61, 2012.
- [10] MADOC, MT6-049 "Manual Técnico. Carro de combate Leopardo2E. Manual de Tripulación"., Granada, 2008.
- [11] «www.Hikvision.com,» [En línea]. [Último acceso: 1 octubre 2019].
- [12] E. Pérez, «Aspectos que inciden en la eficacia de las fuerzas armadas. Su reestructuración ante el nuevo escenario.,» Madrid, 2000.
- [13] K. M. A.-S. Al-Harbi, «Application of the AHP in project management,» *International Journal of project management*, pp. 19-27, 2001.
- [14] T. L. Saaty., Decision making. Analytic hierarchy process. Planning, priority setting, resource allocation., Nueva York: McGraw-Hill, 1980.
- [15] J. L. Orts, B. Vinuesa y J. I. Castro, «Prospectiva de seguridad y defensa. Viabilidad de una unidad de prospectiva en el CESEDEN,» *Monografías del CESEDEN.*, nº 99, 2007.
- [16] T. Hurtado y G. Bruno., «l proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones, en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L.,» Lima, 2005.
- [17] A. Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, «upv.es,» UPV, 27 Noviembre 2018. [En línea]. Disponible en :

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>.
[Último acceso: 26 Septiembre 2019].

- [18] T. L. Saaty, «A scaling method for priorities for hierarchical structures,» *Journal of mathematical psychology*, vol. 15, n° 3, pp. 234-281, 1977.

Apéndice A. Cuestionario realizado en la unidad.

Cuestionario sobre el caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Alternativas para mejorar el sistema de visión del Carro de combate Leopard 2E para aumentar la seguridad en operaciones con elementos de combate a pie.

Cuestionario de evaluación de los criterios, subcriterios y alternativas para su posterior análisis a través del método AHP (Analytical Hierarchy Process)

La realización del cuestionario es totalmente voluntaria.

Si durante la realización del cuestionario tuviera alguna duda

EMPLEO:

NOMBRE Y APELLIDOS:

CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVA A:

ALTERNATIVA A:	AXIS Q1647 Network camera.	
CARACTERÍSTICAS:	Estímulo:	Reproducción de vídeo.
	Resolución:	3072x1728
	Temperatura de utilización:	-20°C - 60°C
	Humedad:	< 85%
	Luminosidad mínima:	0,02 lux.
	Ángulo de visión:	95°
	Coste de adquisición:	1.630€
	Recambios:	1.200€
	Tiempo de espera:	15-20 días.
	Discreción:	Sí.
	Consumo:	5.3W – 11.2W
CARACTERÍSTICAS ESPECIALES:	<ul style="list-style-type: none"> - Es compatible con emisores de luz infrarroja (IR) que permiten su empleo con 0 lux. - Trabaja con un rango de voltaje de entre 8-28V. Por lo que es compatible con las prestaciones del CC. 	

CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVA B:

ALTERNATIVA B:	DS-2TX3636-SP.	
CARACTERÍSTICAS:	Estímulo:	Reproducción de vídeo.
	Resolución:	1920x1080
	Temperatura de utilización:	-20°C - 65°C
	Humedad:	< 90%
	Luminosidad mínima:	0 lux.
	Ángulo de visión:	58°
	Coste de adquisición:	1.900€
	Recambios:	1.600€
	Tiempo de espera:	15-20 días.
	Discreción:	Sí.
	Consumo:	15W – 80W
CARACTERÍSTICAS ESPECIALES:	<ul style="list-style-type: none"> - Es compatible con emisores de (IR) que permiten su empleo con un menor gasto energético. - Permite reproducir las imágenes en balance de blancos, lo que facilita la identificación de medios. 	

CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVA C:

ALTERNATIVA C:	DF4910HD-DN/IR.	
CARACTERÍSTICAS:	Estímulo:	Reproducción de vídeo.
	Resolución:	1920x1080
	Temperatura de utilización:	-30°C - 50°C
	Humedad:	< 90%
	Luminosidad mínima:	0 lux.
	Ángulo de visión:	82°
	Coste de adquisición:	1.800€
	Recambios:	1.700€
	Tiempo de espera:	10-12 días.
	Discreción:	No.
	Consumo:	12W
CARACTERÍSTICAS ESPECIALES:	- Cuenta con una calificación de IP 66 lo que puede abaratar el coste de carcasas para protegerla.	

EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS:

Los criterios elegidos para la evaluación de las distintas alternativas son los siguientes:

- 1. Flexibilidad:** la flexibilidad del sistema vendrá determinada por su capacidad de generar el estímulo con la suficiente anticipación para poder rectificar la maniobra del CC. Además, se tendrá en cuenta su capacidad para ser utilizado en todas aquellas situaciones en las que el carro de combate Leopard 2E pueda ser empleado.
- 2. Costes:** los reducidos costes implican un menor coste unitario, un abaratamiento de los recambios o sustituciones del material, además de un reducido tiempo de espera en la recepción de los recambios. Todo ello se traduce en mayor tiempo de operatividad del carro de combate.
- 3. Operatividad:** dentro de este aspecto se busca que las mejoras no afecten en las capacidades con las que cuenta el carro, así como la discreción de sus medios de observación o la capacidad de poder realizar barridos de su sector de vigilancia con el motor apagado. Además, también se tendrá en cuenta la facilidad con la que pueda interpretarse los estímulos generados por la mejora del sistema. Un estímulo sencillo de interpretar permite aumentar la velocidad en la toma de decisiones y favorecer la movilidad de los CC.

A continuación, deberá marcar con una X aquel criterio **que considere de mayor relevancia**, además deberá puntuar el criterio seleccionado entre 1 y 9 según la siguiente escala:

ESCALA DE PREFERENCIAS:	
Significado de la valoración:	Valoración:
Extremadamente preferible.	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible.	8
Muy fuertemente preferible.	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible.	6
Fuertemente preferible.	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible.	4
Moderadamente preferible.	3
Entre igualmente y moderadamente preferible.	2
Igualmente preferible.	1

En caso de que los considere igual de importantes, marque cualquiera de los criterios y valórelo con un 1.

	FLEXIBILIDAD	COSTES	VALORACIÓN
1).	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	FLEXIBILIDAD	OPERATIVIDAD	VALORACIÓN
2).	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	COSTES	OPERATIVIDAD	VALORACIÓN
3).	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS

Los subcriterios elegidos para la evaluación de las distintas alternativas son los siguientes:

FLEXIBILIDAD:

1. **Espectro de utilización:** la mejora debe ser capaz de funcionar en todos escenarios en los que el carro de combate pueda verse empleado, por lo que se ha de tener en cuenta la temperatura de utilización o la luminosidad necesaria para funcionar entre otras.
2. **Amplitud visual:** la tripulación del carro de combate necesita observar el evento con la suficiente antelación para realizar sus maniobras, por lo que una mayor amplitud visual permite una más temprana observación del evento.

A continuación, deberá marcar con una X aquel criterio **que considere de mayor relevancia**, además deberá puntuar el criterio seleccionado entre 1 y 9 según la siguiente escala:

ESCALA DE PREFERENCIAS:	
Significado de la valoración:	Valoración:
Extremadamente preferible.	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible.	8
Muy fuertemente preferible.	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible.	6
Fuertemente preferible.	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible.	4
Moderadamente preferible.	3
Entre igualmente y moderadamente preferible.	2
Igualmente preferible.	1

En caso de que los considere igual de importantes, marque cualquiera de los criterios y valórelo con un 1.

	ESPECTRO DE UTILIZACIÓN	AMPLITUD VISUAL	VALORACIÓN
1).			

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS

Los subcriterios elegidos para la evaluación de las distintas alternativas son los siguientes:

COSTES:

1. **Adquisición:** de acuerdo con la Política de Defensa actual, debe obtenerse la máxima eficiencia de los recursos. Por lo que obtener una mejora del sistema de visión cuyos costes unitarios (por CC) no sean elevados favorecerá su adquisición.
2. **Repuestos:** al igual que los costes de adquisición son importantes, al tratarse de elementos que sufren desgaste, es necesario tener en cuenta el coste de los repuestos. Con el mismo criterio que en los costes de adquisición, unos repuestos con unos costes que no sean elevados favorecerán su elección.
3. **Flujo de suministros:** a la hora de calcular el coste de adquisición también ha de tenerse en cuenta el tiempo de espera de los repuestos. Unos elevados tiempos de espera obliga a paralizar CC que deberían estar operativos o, en su defecto, tener que utilizar elementos de otros CC que no deberían emplearse, incidiendo así en el desgaste de las piezas intercambiadas entre los CC.

A continuación, deberá marcar con una X aquel criterio **que usted considere de mayor relevancia**, además deberá puntuar el criterio seleccionado entre 1 y 9 según la siguiente escala:

ESCALA DE PREFERENCIAS:	
Significado de la valoración:	Valoración:
Extremadamente preferible.	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible.	8
Muy fuertemente preferible.	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible.	6
Fuertemente preferible.	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible.	4
Moderadamente preferible.	3
Entre igualmente y moderadamente preferible.	2
Igualmente preferible.	1

En caso de que los considere igual de importantes, marque cualquiera de los criterios y valórelo con un 1.

	ADQUISICIÓN	REPUESTOS	VALORACIÓN
1).			
	ADQUISICIÓN	FLUJO DE SUMINISTROS	VALORACIÓN
2).			
	REPUESTOS	FLUJO DE SUMINISTROS	VALORACIÓN
3).			

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS

Los subcriterios elegidos para la evaluación de las alternativas son los siguientes:

OPERATIVIDAD:

1. **Autoprotección:** en busca de la discreción de los elementos y para dificultar la capacidad enemiga de obtención de objetivos, la mejora del sistema de visión no debe suponer, en ningún caso, un aumento de la vulnerabilidad del CC.
2. **Consumo:** hay que tener en cuenta que el consumo de combustible es una característica que merma la movilidad y autonomía de las unidades acorazadas, por lo que han de buscarse sistemas que reduzcan al mínimo el consumo de combustible, ya no sólo en movimiento, sino con el motor apagado, haciendo uso de la Unidad de Potencia Auxiliar (UPA).
3. **Sencillez de interpretación:** este atributo permite que la tripulación capte la información del exterior mediante un estímulo que sea rápidamente procesado por el personal y permite imprimir una mayor velocidad en la toma de decisiones, además de aumentar la movilidad del CC.

A continuación, deberá marcar con una X aquel criterio **que usted considere de mayor relevancia**, además deberá puntuar el criterio seleccionado entre 1 y 9 según la siguiente escala:

ESCALA DE PREFERENCIAS:	
Significado de la valoración:	Valoración:
Extremadamente preferible.	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible.	8
Muy fuertemente preferible.	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible.	6
Fuertemente preferible.	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible.	4
Moderadamente preferible.	3
Entre igualmente y moderadamente preferible.	2
Igualmente preferible.	1

En caso de que los considere igual de importantes, marque cualquiera de los criterios y valórelo con un 1.

	AUTOPROTECCIÓN	CONSUMO	VALORACIÓN
1).			
	AUTOPROTECCIÓN	SENCILLEZ DE INTERPRETACIÓN	VALORACIÓN
2).			
	CONSUMO	SENCILLEZ DE INTERPRETACIÓN	VALORACIÓN
3).			

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Con la información que posee de las diferentes alternativas, los criterios y subcriterios, deberá marcar con una X aquella alternativa **que usted considere de mayor relevancia**, además deberá puntuar la alternativa seleccionado entre 1 y 9 según la siguiente escala:

ESCALA DE PREFERENCIAS:	
Significado de la valoración:	Valoración:
Extremadamente preferible.	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible.	8
Muy fuertemente preferible.	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible.	6
Fuertemente preferible.	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible.	4
Moderadamente preferible.	3
Entre igualmente y moderadamente preferible.	2
Igualmente preferible.	1

En caso de que los considere igual de importantes, marque cualquiera de los criterios y valórelo con un 1.

Este apartado tiene como objetivo la valoración de aquellas cualidades que son cualitativas o que, a pesar de ser cuantitativas, sus capacidades son difícilmente analizables cuantitativamente.

SENCILLEZ DE INTERPRETACIÓN:

	AXIS Q1647 Network camera (A)	DS-2TX3636-SP (B)	VALORACIÓN
1).			
	AXIS Q1647 Network camera (A)	DF4910HD-DN/IR (C)	VALORACIÓN
2).			
	DS-2TX3636-SP (B)	DF4910HD-DN/IR (C)	VALORACIÓN
3).			

ESPECTRO DE UTILIZACIÓN:

	AXIS Q1647 Network camera (A)	DS-2TX3636-SP (B)	VALORACIÓN
1).			
	AXIS Q1647 Network camera (A)	DF4910HD-DN/IR (C)	VALORACIÓN
2).			
	DS-2TX3636-SP (B)	DF4910HD-DN/IR (C)	VALORACIÓN
3).			

AUTOPROTECCIÓN:

	AXIS Q1647 Network camera (A)	DS-2TX3636-SP (B)	VALORACIÓN
1).			

	AXIS Q1647 Network camera (A)	DF4910HD-DN/IR (C)	VALORACIÓN
2).			

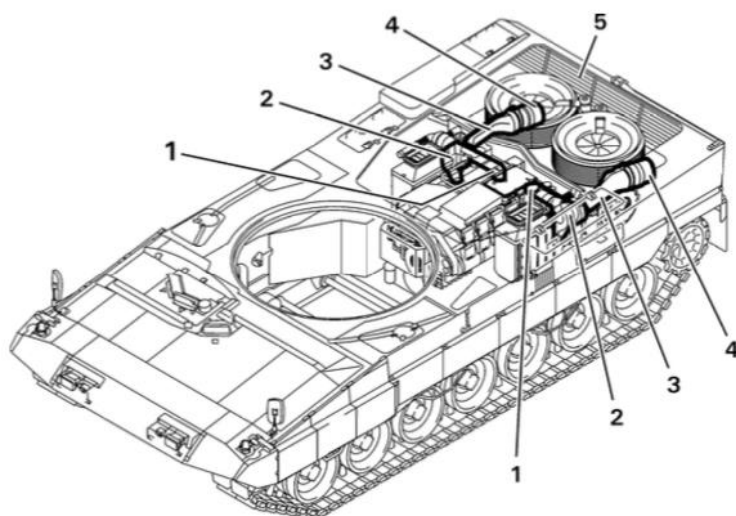
	DS-2TX3636-SP (B)	DF4910HD-DN/IR (C)	VALORACIÓN
3).			

FIN DEL CUESTIONARIO.
MUCHAS GRACIAS POR SU TIEMPO.

Apéndice B. Resultados de las encuestas

	Pregunta	Sentencia	Opción A		Opción B		Media A	Media B	Media mayor ÷ media menor	Valor de Saaty
			Sumatorio	Pax.	Sumatorio	Pax				
Pregunta criterios	1.1	Flexibilidad VS costes	108	17	5	1	6,35294118	5	1,270588235	3
	1.2	Flexibilidad VS operatividad	23	7	51	11	3,28571429	4,63636364	1,411067194	1/3
	1.3	Costes VS operatividad	4	1	104	17	4	6,11764706	1,529411765	1/5
	2.1	Espectro de utilización	60	12	30	6	5	5	1	1
Preguntas flexibilidad	3.1	Adquisición VS repuestos	23	5	65	13	4,6	5	1,086956522	1
	3.2	Adquisición VS flujo de suministros	12	5	79	13	2,4	6,07692308	2,532051282	1/5
	3.3	Repuestos VS flujo de suministros	31	12	25	6	2,58333333	4,16666667	1,612903226	1/5
Preguntas operatividad	4.1	Autoprotección VS consumo	111	17	4	1	6,52941176	4	1,632352941	5
	4.2	Autoprotección VS sencillez de interpretación	97	16	17	2	6,0625	8,5	1,402061856	1/3
	4.3	Consumo VS sencillez de interpretación	7	4	88	14	1,75	6,28571429	3,591836735	1/7
Preguntas sencillez de interpretación	5.1	AXIS Q1647 VS DS-2TX3636-SP	9	4	46	14	2,25	3,28571429	1,46031746	1/3
	5.2	AXIS Q1647 VS DF4910HD-DN/IR	67	17	3	1	3,94117647	3	1,31372549	3
	5.3	DS-2TX3636-SP VS DF4910	87	17	2	1	5,11764706	2	2,558823529	5
Preguntas espectro de utilización	6.1	AXIS Q1647 VS DS-2TX3636-SP	18	7	50	11	2,57142857	4,54545455	1,767676768	1/5
	6.2	AXIS Q1647 VS DF4910HD-DN/IR	73	14	15	4	5,21428571	3,75	1,39047619	3
	6.3	DS-2TX3636-SP VS DF4910	91	17	1	1	5,35294118	1	5,352941176	9
Preguntas espectro de autoprotección	7.1	AXIS Q1647 VS DS-2TX3636-SP	15	15	3	3	1	1	1	1
	7.2	AXIS Q1647 VS DF4910HD-DN/IR	45	17	1	1	2,64705882	1	2,647058824	5
	7.3	DS-2TX3636-SP VS DF4910	45	17	1	1	2,64705882	1	2,647058824	5

Apéndice C. Imagen instalación cableado.



- 1. Conductos de escape motor-turbos
- 2. Turbocompresores
- 3. Conducciones turbocompresor-silencioso

- 4. Silenciosos
- 5. Rejilla de salida del aire de refrigeración

Como puede observarse, el hueco entre los silenciosos (4) y la rejilla de salida del aire de refrigeración (5) cuenta con espacio más que suficiente por el cual se puede introducir cableado.

Apéndice D. Imagen de la cámara de visión delantera.



En este esquema se puede observar tanto la posición de la cámara de visión delantera como el monitor donde el conductor realiza la lectura de las imágenes.